© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

WASSERPFLANZEN IN DER NEUEN DONAU: BIODIVERSITÄT, HABITATSTRUKTUR UND NÄHRSTOFF-FALLE

GEORG A. JANAUER & ULRIKE WYCHERA

Zusammenfassung

Die Neue Donau, das Hochwasserentlastungsgerinne im Stadtgebiet von Wien und Freizeitparadies für hunderttausende Erholung Suchende, wurde im Rahmen der bereits über 11 Jahre durchgeführten ökologischen Beweissicherung auch auf die Wasserpflanzen-Vegetation untersucht. Die Biodiversität wurde anhand der Artenzusammensetzung, der relativen Mengen der einzelnen Arten und durch Analyse der zeitlichen Entwicklung im Verlauf dieser Zeitspanne erfasst. Neben „persistenten" Arten konnten „fluktuierende" Arten festgestellt werden, deren Auftreten weniger leicht vorhergesagt werden kann. Die Resilienz nach Hochwasserereignissen war unerwartet stark und konnte numerisch belegt werden. Überlegungen zur Habitatstruktur zeigen die Bedeutung der Wasserpflanzen für andere Lebewesen im Gewässer auf. Für die Erholung Suchenden an der Neuen Donau ist vor allem die Aufnahme des Düngestoffes Phosphor durch die Wasserpflanzen von Bedeutung. Dadurch ist die Konkurrenz auf die Schwebalgen so stark, dass sie keine „Algenblüten" ausbilden können und somit die hohe Gewässerqualität der Neuen Donau gewahrt bleibt.

Summary

Aquatic plants of the New Danube flood control channel: biodiversity, habitat structure and nutrient sink

The „New Danube" is a 21 km long flood control channel in the urban area of the City of Vienna (Austria). The development of the aquatic macrophyte vegetation was investigated for eleven years. Biodiversity was assayed by species composition, relative plant mass and the succession of individual species. Aside from species of continuous occurrence the presence of „fluctuating" species was not predictable. The resilience of the macrophyte vegetation was remarkable following severe flood events. Photographic, theoretical and experimental evidence is given for the structural diversity during seasonal development. The main feature of interest for people seeking recreation in this channel probably is the strong competition for phosphorus between macrophytes and planktonic algae, which secures the high water qualitiy of this large water body and prevents detrimental algal blooms.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

1. Stellung der Makrophyten im Gewässer-Ökosystem

Die „Höheren Wasserpflanzen", im Volksmund „Schlingpflanzen", wurden im wissenschaftlichen Sprachgebrauch als „Makrophyten" bezeichnet, weil sie sich nach einer unscharfen, aber praktikablen Konvention „... mit dem freien Auge bis zur Art" bestimmen lassen und sich damit von den mikroskopisch kleinen Algen unterscheiden. Wenn Makrophyten in Massen auftreten, dann dominieren ihre Strukturen das Gewässer.

Die Stellung der Makrophyten im Gewässer-Ökosystem ist vielfältig, besonders dann, wenn auch das Wechselspiel zwischen anthropogenen Nutzungen und Wasserpflanzen einbezogen wird. Die Wasserpflanzen sind Primärproduzenten. Sie stellen als grüne Pflanzen mittels Photosynthese organische Substanz her, aus der sie ihre oft viele Meter langen und vielfach verzweigten Körper aufbauen. Sie beeinflussen damit den Kohlenstoffhaushalt des Wassers beim Wachsen und bei ihrem Absterben. Über die Kohlendioxidaufnahme bzw. Sauerstoffabgabe bei der Photosynthese und die Sauerstoffaufnahme bzw. Kohlendioxidabgabe bei der Atmung greifen sie stark in den Gasstoffwechsel der Gewässer ein (POKORNY & REJMANKOVA 1983, ONDOK et al. 1984).

Die Biomasse der Makrophyten wird unterschiedlich genutzt: Nur wenige Wirbeltierarten (u. a. Fische, Wasservögel, Bisamratte) können die Wasserpflanzen direkt als Futter nutzen; daher wird die Hauptmenge der Pflanzenmasse im Herbst von wirbellosen Kleintieren und von Bakterien und Pilzen abgebaut.

In vielen Gewässern liegt die Bedeutung der Wasserpflanzen im Ökosystem weniger in ihrer Funktion als Primärproduzenten. Vielmehr strukturieren sie – ähnlich wie die Bäume in einem Wald – den Lebensraum. Die unterschiedlichen Wuchsformen, wie die Schwimmblattpflanzen (z. B. Teich- und Seerosen), die untergetaucht lebenden Wasserpflanzen (z. B. Laichkräuter, Wasserhahnenfußgewächse) oder die Wasserlinsendecken an der Gewässeroberfläche, stellen wertvolle und vielfältige Mikrohabitate für andere Gewässerorganismen dar (JORGA & WEISE 1979). Außerdem ändert sich die Verteilung pflanzlicher Biomasse im Laufe der Vegetationsperiode, so dass einmal näher beim Gewässerboden, das andere Mal näher der Gewässeroberfläche dichte, der Tierwelt Schutz gewährende und Lebensraum bereitstellende Biomasseansammlungen gebildet werden (JANAUER & PALL 1999, WYCHERA et al. 1993). Diese Kleinhabitate zwischen den Stängeln und Blättern der Wasserpflanzen sind durch geringe Distanzen im freien Wasser und durch eine zum Teil sehr große Oberfläche gekennzeichnet. Diese wird von Bakterien und Pilzen, von Algen und tierischen Einzellern, von vielen Wasserinsekten im Larvenstadium und von jungen und adulten Fischen und Amphibien genutzt.

Für den Menschen und seine Nutzungsansprüche werden Wasserpflanzen dann zum Problem, wenn sie in großen Mengen auftreten und alle Arten von Wassersport, aber auch die Nutzung des Wassers in Kraftwerken behindern.

In der Neuen Donau sollten die Wasserpflanzen aber nicht nur als Teil eines vom Menschen gesteuerten und für den menschlichen Nutzen adaptierten Gewässers gesehen werden. In Österreich sind die Lebensräume von Wasserpflanzen heute vielfach durch ältere Schutzwasserbauten und Regulierungen auf wenige Areale zurückgedrängt. Im Zusammenhang mit der Wasserpflanzen-Vegetation ist somit ein genereller ökologischer Aspekt zu berücksichtigen, der die Bewertung der Makrophyten im System der Neuen Donau mitbestimmt. Selbst in diesem künstlichen

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Gewässer sind Naturschutzkriterien auf den Problemkreis der Makrophyten anzuwenden. Auch die natürliche Konkurrenz zwischen den Schwebalgen (Phytoplankton) und den Wasserpflanzen ist zu bedenken. Sie besteht in Bezug auf die Nährstoffe und auf die Lichtverteilung im Wasser.

Aus anthropozentrischer Sicht sind die Wasserpflanzen ein Funktionsglied im System Neue Donau, das die Qualität als Badegewässer beinflusst: Makrophyten können durch Nährstoffkonkurrenz die Massenentwicklung von Algen („Algenblüten") vermindern und negative Auswirkungen wie Wassertrübungen verhindern.

2. Methodik

Die Untersuchung der Wasserpflanzen in der Neuen Donau baut auf der Mengenschätzung nach KOHLER et al. (1971) und KOHLER & JANAUER (1995) auf. Dabei werden Kartierungsabschnitte von variabler Länge, aber ökologischer Gleichförmigkeit kontinuierlich über die gesamte Länge das Gewässers gelegt und jede in einem Abschnitt angetroffene Art nach einer fünfstufigen Schätzskala in ihrer Menge abgeschätzt. Dieses Verfahren ist seit Jahrzehnten in der Fachwelt etabliert und wurde als Basis für die hier nötige quantitative Bearbeitung der Wasserpflanzenvegetation herangezogen.

Da die Neue Donau mit rund 21 Kilometer Länge und etwa 160 Metern Breite und wenigen Metern Tiefe zur Gänze mit Wasserpflanzen besiedelt sein kann, wurde die Genauigkeit der Methodik dieser Situation angepasst (WYCHERA & JANAUER 1998). Methoden von hoher Genauigkeit und Reproduzierbarkeit waren auch anzuwenden, da die rechtsverbindlichen Regelungen im wasserrechtlichen Bewilligungsverfahren auf exakten Zahlenwerten aufbauen, die von der Makrophytenuntersuchung geliefert werden müssen. Es wurden daher numerische Derivate der Felddaten berechnet (JANAUER et al. 1993; PALL & JANAUER 1995), die als „Relative Pflanzenmenge", „Mittlerer Mengenindex" oder „Kumulativer Kohler-Index" (CKI) eine genaue Beschreibung der Zustände und Menge der Wasservegetation erlauben.

3. Biodiversität der aquatischen Vegetation in der Neuen Donau

3.1 Artenzusammensetzung

Die Übersicht über das Auftreten der Wasserpflanzen in der Neuen Donau (Abb. 1) zeigt, dass bereits kurz nach der endgültigen Herstellung des gesamten Gerinnes (1987) insgesamt acht Pflanzenarten, und zwar allesamt untergetaucht lebende Formen, gefunden wurden. Das erklärt sich daraus, dass einzelne Abschnitte des Gerinnes schon über mehrere Jahre ohne Verbindung miteinander bestanden hatten, in denen sich schon eine eigenständige Vegetation etabliert hatte. Von dort aus wurden die zuletzt geschaffenen Gewässerteile rasch besiedelt.

Ab dem zweiten Untersuchungsjahr (1988) zeigte sich, dass in der oberen Stauhaltung nur die Unterwasserhalden der Ufer besiedelt waren. In der unteren Stauhaltung hingegen erstreckte sich die Wasservegetation auch schon zu diesem frühen Zeitpunkt über die gesamte Sohle, wobei tiefere Bereiche (s. Parameter CKI) unterschiedlich stark bewachsen waren.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Weder aus der Literatur noch aus der Erfahrung der eigenen Arbeitsgruppe gab es Ansatzpunkte, ab welchem Zeitpunkt in der oberen Stauhaltung eine Besiedelung des gesamten Wasserkörpers möglich wäre. Größere Pflanzenmengen traten in der oberen Stauhaltung erst ab 1995 auf. Daher wurden bis zu diesem Zeitpunkt die Aktivitäten ausschließlich auf die untere Stauhaltung konzentriert.

In der Übersicht (Abb. 1) lässt sich leicht erkennen, dass in allen Jahren (auch 1991, nach dem größten Hochwasserdurchgang bisher) zahlreiche Arten von Wasserpflanzen nachgewiesen werden konnten. Die höchsten Artenzahlen wurden 1994 und 1995 angetroffen, wobei einige wenige Arten, von einem zum anderen Jahr wechselnd, ausschließlich in der oberen bzw. ausschließlich in der unteren Stauhaltung aufgetreten waren. Bei diesen Arten lässt sich auch nicht zwingend vorhersagen, ob sie im nächsten Jahr nicht in beiden Stauhaltungen oder aber in der jeweils entgegengesetzten auftreten. Der Anteil fluktuierender Arten ist somit in diesem von unterschiedlichen Faktoren beeinflussten Gewässerkörper nicht unerheblich. Auf der anderen Seite stehen jedoch Arten, die vom ersten bis zum letzten Jahr ohne Unterbrechung anzutreffen waren.

Abb. 1: Vorkommen der einzelnen Arten in den beiden Stauhaltungen der Neuen Donau in den Jahren 1987 bis 1997.

Occurrence of species (New Danube, lower and upper impoundment, 1987–1997).

Arten		87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	Σ
Alisma plantago aquatica L.	Gemeiner Froschlöffel												2
Ceratophyllum demersum L.	Gemeines Hornkraut												11
Chara sp. L.	Armleuchteralge												3
Elodea nuttallii (Planchon) St. John	Wasserpest												11
Myriophyllum spicatum L.	Tausendblatt												11
Najas marina L.	Großes Nixkraut												9
Nitella mucronata (A. Braun) Miquel	Armleuchteralge												1
Nitellopsis obtusa (Desv.) J. Groves	Armleuchteralge												6
Polygonum amphibium L.	Wasser-Knöterich												6
Potamogeton crispus L.	Krauses Laichkraut												11
Potamogeton lucens L.	Glänzendes Laichkraut												10
Potamogeton mucronatus Schrader ex Sonder	Stachelspitziges Laichkraut												7
Potamogeton pectinatus L.	Kamm-Laichkraut												11
Potamogeton perfoliatus L.	Stängelumfass. Laichkraut												11
Potamogeton pusillus L. sec Dandy & Taylor	Berchtolds Laichkraut												3
Potamogeton trichoides Chamisso et Schlechtendal	Haarblättriges Laichkraut												2
Ranunculus circinatus Sibthorp	Spreizender Hahnenfuß												4
Schoenoplectus lacustris L.	Gemeine Teichbinse												6
Sparganium emersum Rehmann	Einfacher Igelkolben												4
Zannichellia palustris L.	Teichfaden												3
Σ		8	11	10	9	11	14	15	16	16	13	10	

gesamte Neue Donau
nur obere Stauhaltung
nur untere Stauhaltung
nur untere Stauhaltung kartiert

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Anzahl der Arten pro Jahr erreichte ab 1991, dem Jahr mit dem bisher größten Hochwasserereignis, über vier Jahre hindurch die höchsten Werte. Beim anschließenden Absinken 1996 könnten bereits Konkurrenz- und Dominanzphänomene, v. a. aber auch das Makrophytenmanagement (Abernten von Biomasse, die die Freizeitnutzung behindert) als Ursache angesehen werden. Erstaunlich ist die noch immer hohe Artenzahl 1997, obwohl der zweimalige Hochwasserdurchgang die Biomasse der im Frühsommer vorhandenen Bestände drastisch reduziert hatte.

In der Zukunft könnten sich auch zyklische Entwicklungen mit langen Perioden im Wasserpflanzenbestand der Neuen Donau einstellen: So lag der Mittelwert der Artenzahlen bis 1991 bei 9,8, ab 1992 bei 13,7 (unter Einbeziehung von 1997, s. Abb. 2). Es wird von Interesse sein, ob die gravierende Zäsur 1997 zu einem neuerlichen Ansteigen der Artenvielfalt in den kommenden Jahren führen wird.

Diese Hinweise auf dynamische Vorgänge, die die Biodiversität der Wasservegetation erheblich beeinflussen, führen zur Frage nach der Stabilität der Artenzusammensetzung: Im Mittel sind 8,3 Arten den beiden Stauhaltungen gemeinsam. Ausschließlich in der unteren Stauhaltung sind bislang im Mittel 3,0 Arten aufgetreten, ausschließlich in der oberen Stauhaltung im Mittel 2,7 Arten. Da aber jede einzelne dieser fluktuierenden Arten im Laufe der vergangenen elf Jahre bereits sowohl in der unteren als auch in der oberen Stauhaltung aufgetreten ist, könnte diese „Mobilität" zu den inhärenten Eigenschaften und Verbreitungsstrategien speziell dieser Arten gehören (WADE 1981).

Im Vergleich mit den Artenzahlen von Wasserpflanzen in anderen österreichischen Gewässern des engeren Donau-Einzugsgebietes (Abb. 3) muss die Neue Donau mit zehn bis 15 Arten pro Jahr in die Reihe der „dynamischen" Fließgewässer, wie die Fischa, die Auenbäche im Eferdinger Becken oder der Rußbach, eingeordnet werden. Auch der Marchfeldkanal zeigt eine nur geringfügig höhere Artenzahl. Gewässer mit gleichmäßigerem Abflussregime, wie der Gießgang Greifenstein, aber auch stehende Gewässer, wie das Mühlwasser in der Lobau, zeigen demgegenüber höhere Artenzahlen.

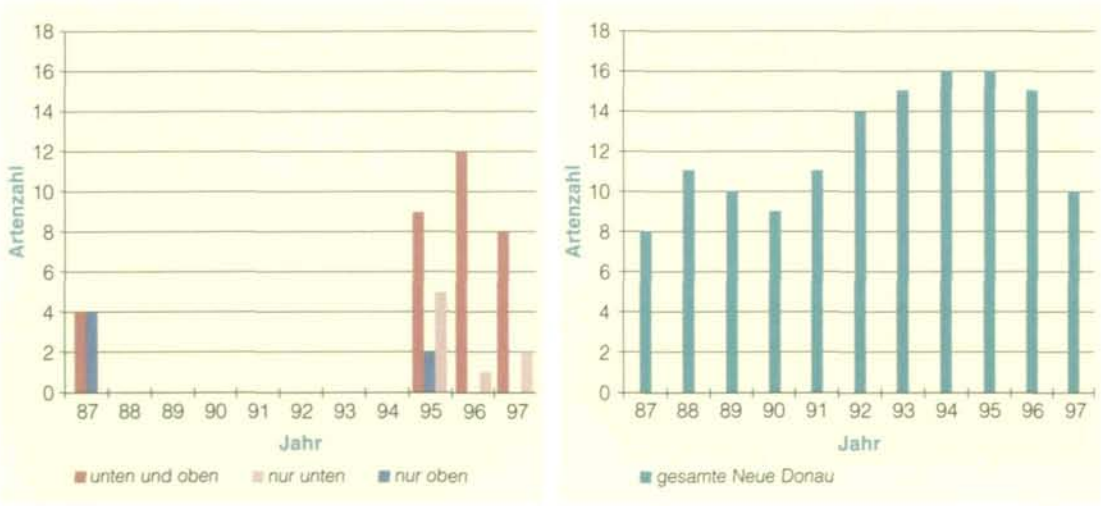


Abb. 2: Die Artenzahlen in der oberen und unteren Stauhaltung und im gesamten Untersuchungsgebiet.

Species numbers (New Danube, upper and lower impoundment)

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die zeitliche Kontinuität der Wasservegetation kann als ein weiterer Aspekt der Biodiversität gesehen werden (Abb. 5–16). In der unteren Stauhaltung treten das Hornkraut, die Wasserpest und das Tausendblatt sowie einige Laichkrautarten jedes Jahr auf. Sie bilden über lange Zeiträume hinweg ein konstantes Angebot an Biomasse und Klein-Lebensräumen (Mikrohabitate) für viele Wasserorganismen. Sie sind aber auch eine relativ konstante Eingangsgröße für die Berechnung der Einflüsse der Makrophyten auf den Gewässerchemismus und die Zustände der Wasserqualität. Alle anderen Arten hingegen sind nicht jedes Jahr anzutreffen und besiedeln offensichtlich jedes Jahr wechselnde Nischen.

Ein sehr ähnliches Bild zeigt sich auch in der oberen Stauhaltung (Abb. 4), in der die gleichen Arten als Konstante auftreten wie in der unteren. Alle restlichen Arten sind Nischenbesiedler, soweit sich dies im kurzen Zeitraum seit der Besiedelung der oberen Stauhaltung sagen lässt.

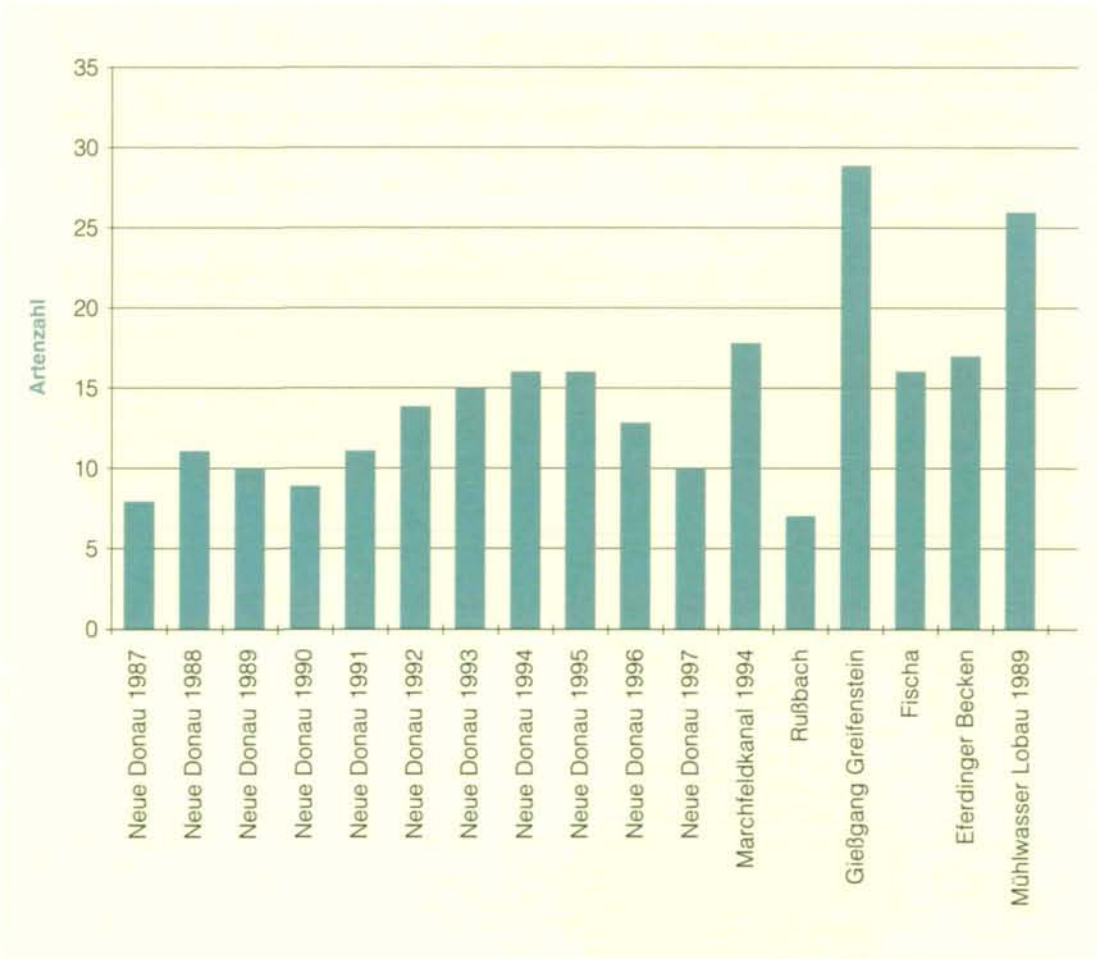
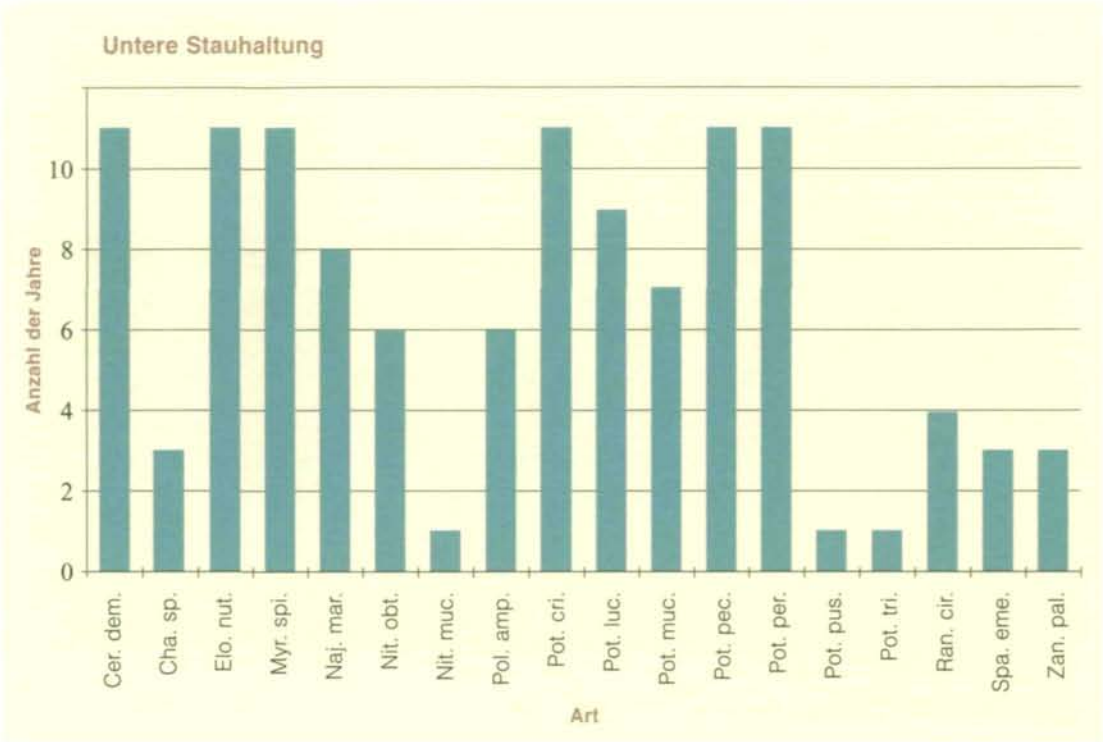


Abb. 3: Vergleich der Artenzahlen in der Neuen Donau und anderen österreichischen Gewässern im engeren Donau-Einzugsgebiet.

Comparison of species numbers in the New Danube and other running waters in the Austrian reach of the Danube catchment.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at



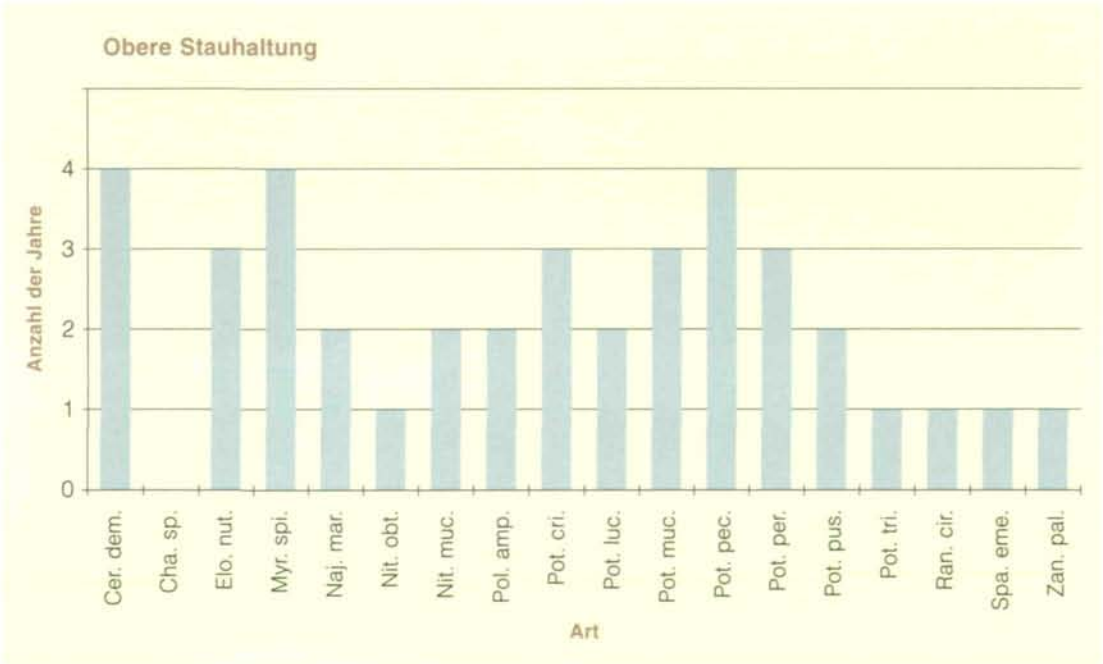


Abb. 4: Zeitliche Kontinuität der Wasserpflanzen in den elf (untere Stauhaltung) bzw. vier Untersuchungsjahren (obere Stauhaltung).

Temporal continuity of water plant occurrence (New Danube, lower impoundment: 11 yrs., upper impoundment: 4 yrs.).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 5 bis 10: Szenen aus der Unterwasserlandschaft 1. Oben: Froschlöffel, Laichkraut. Mitte: Laichkraut und Tausendblatt (Hintergrund); Tausendblatt (Vordergrund) und Wasserpest. Unten: Dickicht aus Laichkraut und Wasserpest; ein Blick zur Wasseroberfläche. Foto: Wimmer, Orca.

Scenes of an underwater-landscape 1. Above: Common water-plantain, pondweed. Middle: Pondweed and water milfoil (in the back); water milfoil (in the front) and canadian waterweed. Lower: Thicket of pondweed and canadian waterweed; view to the watersurface.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Abb. 11 bis 16: Szenen aus der Unterwasserlandschaft 2. Oben: Mikroskopisch kleine Schwebalgen trüben das Wasser; dichte Bestände wölben sich über dem Taucher. Mitte: Fisch im „Laichkrautwald"; Laichkraut und Tausendblatt können auch die Taucharbeit behindern. Unten: Am oberen Rand des Tausendblattbestandes; Fische nehmen das Strukturangebot der Wasserpflanzenbestände bevorzugt an. Foto: Wimmer, Orca.

Scenes of an underwater-landscape 2. Above: Microscopical small suspended algae clouden the water; thick stocks arch above the diver. Middle: Fish in a „forest of pondweed"; pondweed and water milfoil makes the diving difficult. Lower: Upper area of the water milfoil stock; fish prefer the structure of thickets of underwaterplants.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

3.2 Pflanzenmenge

Aussagen zur Biodiversität werden oftmals durch die Anwendung unterschiedlicher Diversitätsindizes gestützt, die die Anzahl der Arten und die Zahl der Individuen einbeziehen. Die Anzahl der Arten ist durch entsprechend genaue Kartierung erfassbar, eine Aussage zur Anzahl der Individuen zu treffen ist viel schwieriger. Die Wasserpflanzen sind vorwiegend auf vegetative Vermehrung angewiesen und einzelne Teile eines Pflanzenschwadens sind bei vielen Arten über Wurzel- oder Rhizomsysteme verbunden. Selbst wenn einzelne Pflanzen mit individuellen Sprossen wachsen, ist die exakte Erfassung der Individuen in einem dichten Bestand aus praktischen Gründen mit vertretbarem Aufwand kaum möglich. Für die Darstellung der Diversität mussten daher andere Kriterien gefunden werden und einige numerische Derivate der Mengenschätzung sind dazu gut geeignet.

Die „Relative Pflanzenmenge" der unteren Stauhaltung (Abb. 17) weist Hornkraut, Wasserpest und Tausendblatt mit den größten Anteilen an der gesamten Menge der Wasserpflanzen aus. Diese drei Arten sind auch die prägenden Vegetationselemente während der gesamten Entwicklung der Neuen Donau gewesen (s. Abb. 4). Die Laichkrautarten hingegen, die ebenfalls von Beginn der Gewässerbeobachtung an den Vegetationscharakter bestimmt haben, sind hinsichtlich ihrer Relativen Pflanzenmenge – von wenigen Ausnahmen abgesehen (z. B. *Potamogeton perfoliatus*, nach 1992) – von untergeordneter Bedeutung.

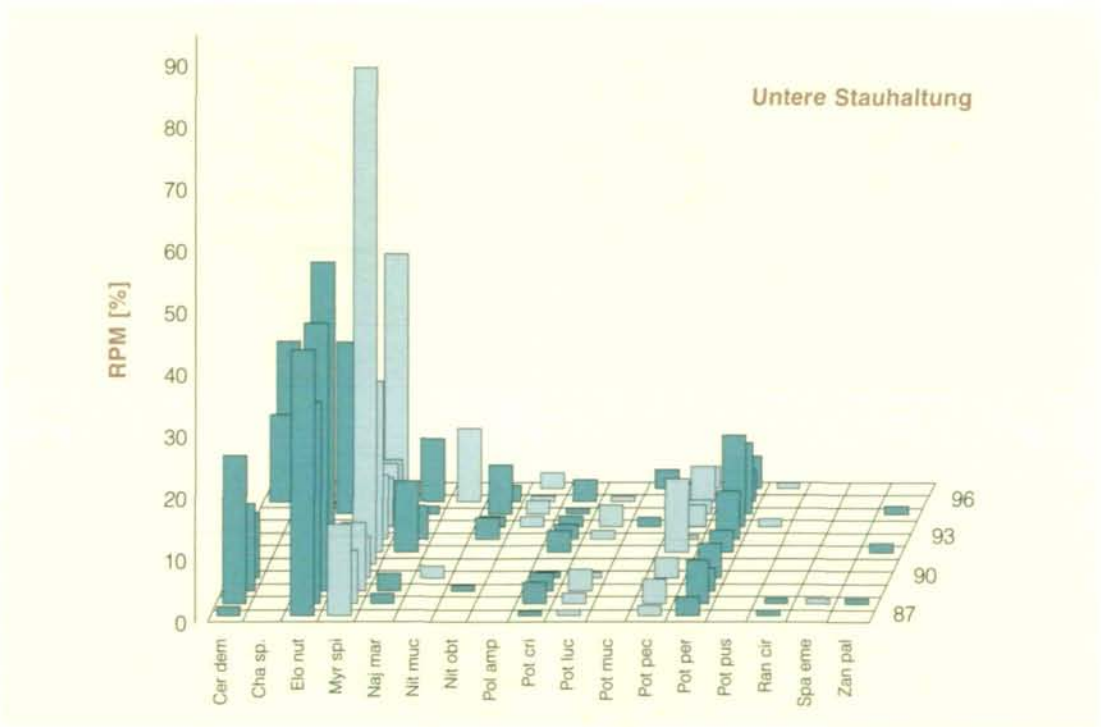


Abb. 17: Relative Pflanzenmenge in der unteren Stauhaltung.

Relative plant mass (New Danube, lower impoundment).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Beim Einfluss von Hochwässern auf die einzelnen Arten ist das Bild unterschiedlich. Das Hornkraut besitzt zwar keine Wurzeln, wird aber trotz Hochwasserereignissen niemals ganz aus seinen räumlichen Nischen vertrieben. Etwas Ähnliches gilt für die nur mit kleinen Wurzeln versehenen Bestände der Wasserpest, die in störungsarmen Jahren den weitaus höchsten relativen Anteil an der Pflanzenmasse stellen kann. Das Tausendblatt, das zumeist an dritter Stelle in der Relativen Pflanzenmenge steht, zeigt die höchsten Werte bereits zweimal unmittelbar nach dem Durchgang großer Hochwässer (1991 und 1997, Untersuchung nach Hochwasserdurchgang), ein Zeichen rascher Regeneration. Zu diesem Zeitpunkt sind die beiden anderen dominanten Arten zum Großteil von den Feinsedimentschichten überlagert, die sie nur langsam durchwachsen können. Das Tausendblatt hingegen, das keine große Masse an der Gewässersohle aufbaut, sondern bevorzugt zur Oberfläche hin trichterförmig auseinanderstrebende Bestände entwickelt, besitzt nach Hochwasserdurchgängen offensichtlich einen Konkurrenzvorsprung. Alle anderen Arten fluktuieren so stark im Sukzessionsverlauf, dass sich aus ihrer Relativen Pflanzenmenge keine eindeutigen Trends herauslesen lassen. Erst nach längeren Jahresreihen wird man diese Phänomene von einer gesicherten statistischen Basis aus untersuchen können.

In der oberen Stauhaltung zeigt das Diagramm der Relativen Pflanzenmenge (Abb. 18) ein recht ähnliches Bild wie in der unteren. Das Hornkraut und die Wasserpest stellen die beiden dominierenden Arten dar, wobei jedoch ihr relativer Anteil etwas geringer ist als in der unteren Stauhaltung. Das Hornkraut wird stärker, die Wasserpest in geringerem Maße vom Hochwasser

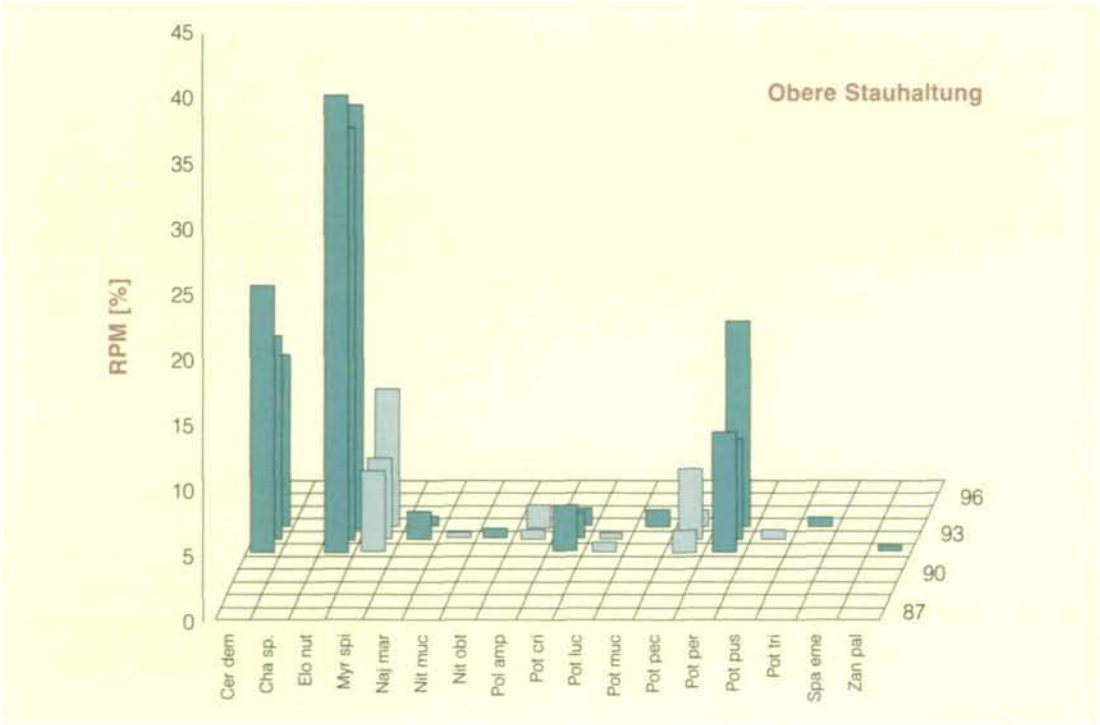


Abb. 18: Relative Pflanzenmenge in der oberen Stauhaltung.

Relative plant mass (New Danube, upper impoundment).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

beeinflusst. Das Tausendblatt zeigt auch hier nach dem Hochwasser einen Wachstumsvorsprung, die weiterhin hohe Dominanz der Wasserpest scheint jedoch ein noch stärkeres Aufkommen zu begrenzen. Auch hier ist wieder das Laichkraut (*Potamogeton perfoliatus*) eine wichtige Beiart, die nach dem Hochwasser 1997 einen sehr hohen relativen Anteil erreicht und möglicherweise auch künftig das Tausendblatt auf einen der hinteren Plätze verweist. Da sich der Beobachtungszeitraum in der oberen Stauhaltung aber erst auf drei Jahre erstreckt, sind starke Veränderungen in den relativen Anteilen der einzelnen Arten in Zukunft nicht auszuschließen. Insgesamt wird sich jedoch das Gesamtbild ähnlich jenem in der unteren Stauhaltung entwickeln.

3.3 Kumulativer Kohler-Index

Ein weiteres Diversitätsmaß ist der Kumulative Kohler-Index (PALL & JANAUER, unveröffentlicht). Dieser numerische Parameter berücksichtigt die Anzahl der Arten und deren Menge in einer summierenden Weise, so dass bei einer höheren Artenanzahl, vor allem aber dann, wenn mehrere Arten sehr hohe Mengenwerte anzeigen, hohe Bewertungsstufen erreicht werden. Dieser Parameter stellt somit im weitesten Sinne die Raumerfüllung des Wasserkörpers durch die aquatische Vegetation dar. Wenn die höchste Bewertungsstufe erreicht ist, dann ist auch ein erheblicher Teil des Wasserkörpers von den Pflanzenbeständen ausgefüllt.

Das Diagramm des CKI (Abb. 19) zeigt im linken Block die Abschnitte der oberen und rechts die Abschnitte der unteren Stauhaltung. Aus bereits erwähnten Gründen sind die Angaben von 1987 bis 1994 in der oberen Stauhaltung leer gelassen: In diesem Zeitraum wuchsen die Bestände nur im Uferbereich. 1995 und 1996 zeigt sich erstmals, dass von der flacheren Zone unter dem Einlaufbauwerk die Bestände weiter in das Tiefwasser Richtung Wehr 1 mit großen Pflanzenmengen (die beiden höchsten Bewertungsstufen) auch in den Sohlbereich eingewandert sind. Dieses Bild hat sich durch das Hochwasser 1997 verhältnismäßig drastisch geändert, vor allem die besonders dichten Bestände unmittelbar unterhalb des Einlaufbauwerks (linker Rand des Diagramms) sind erheblich dezimiert worden. Im siebenten Abschnitt hingegen reduzierte sich die Menge der Pflanzen nur um eine Stufe und im neunten und zehnten Abschnitt blieb der gleiche Kumulative Kohler-Index erhalten. Dies ist im Wesentlichen darauf zurückzuführen, dass die Wasserpest-Bestände nur geringfügige Einbußen erfuhren und die Abnahme beim Hornkraut zum Teil durch ein stärkeres Aufkommen von Tausendblatt und Laichkraut kompensiert wurde (Abb. 19). Damit wurde sogar das völlige Ausfallen einiger Arten überdeckt. Dies zeigt, wie wichtig möglicherweise das Freimachen von Nischen durch das Hochwasser, vielleicht auch durch Beerntung, für die Dynamik der Wasservegetation ist.

Die untere Stauhaltung (Abb. 19, rechts) erstreckt sich von Wehr 1 bis Wehr 2. Vor dem Hochwasserereignis von 1991 lässt sich ein etwas unregelmäßiger Trend zu ständig intensiverer Besiedelung weiter flussab gelegener Teile erkennen. Dies bedeutet, dass verbesserte Wachstumsbedingungen den Makrophyten ein immer weiteres Vordringen in tiefere Bereiche der Stauhaltung ermöglichten. Mit großer Wahrscheinlichkeit ist dafür das durch Jahre hindurch fortgesetzte massive Auftreten der Wasserpflanzenbestände in den am weitesten flussauf gelegenen fünf Abschnitten gleich unterhalb des Wehrs 1 ausschlaggebend.

Im Hochwasserjahr 1991 wurde die mit dem Kumulativen Kohler-Index ausgedrückte Gesamtmenge gegenüber dem Vorjahr extrem reduziert (die Angabe hier bezieht sich auf den Zustand der Wasservegetation knapp vor dem Ende der Vegetationsperiode, aber bereits nach

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

dem Wiederaufwachsen im Anschluss an den Hochwasserdurchgang). Interessanterweise wird der höchste Wert, allerdings nur die zweite Stufe in der Bewertungsskala, unmittelbar unter dem Wehr 1 erreicht. Alle anderen Abschnitte waren zu diesem Zeitpunkt mit noch geringeren Mengen oder gar nicht bewachsen.

Obwohl das Hornkraut und die Wasserpest in ihrer Menge extrem reduziert worden waren, konnte das Tausendblatt (s. auch Abb. 19) als rasch regenerationsfähige Art die frei gewordenen Nischen zu einem erheblichen Teil nutzen.

Nach diesem großen Hochwasser stellte sich zwischen 1992 und 1996 ein recht deutlicher Trend in Richtung starker Wiederbesiedelung der frei gewordenen Räume ein. Der dichte Bewuchs (Bewertungsstufen 4 + 5) breitete sich von den flacheren Wasserbereichen immer weiter in die tieferen aus und erreichte zuletzt 1996 im gesamten Gewässer den höchsten Wert. Dies ist sowohl auf die hohen Mengenanteile als auch auf die große Zahl der an diesem Prozess teilnehmenden Arten zurückzuführen. Mit großer Wahrscheinlichkeit drückt sich darin aber auch die sehr intensive Beerntung mit dem Mähboot während des Makrophyten-Managements aus, da sich bei sehr massiver Ernte zahlreiche Kleinhabitate während der Vegetationsperiode ergeben.

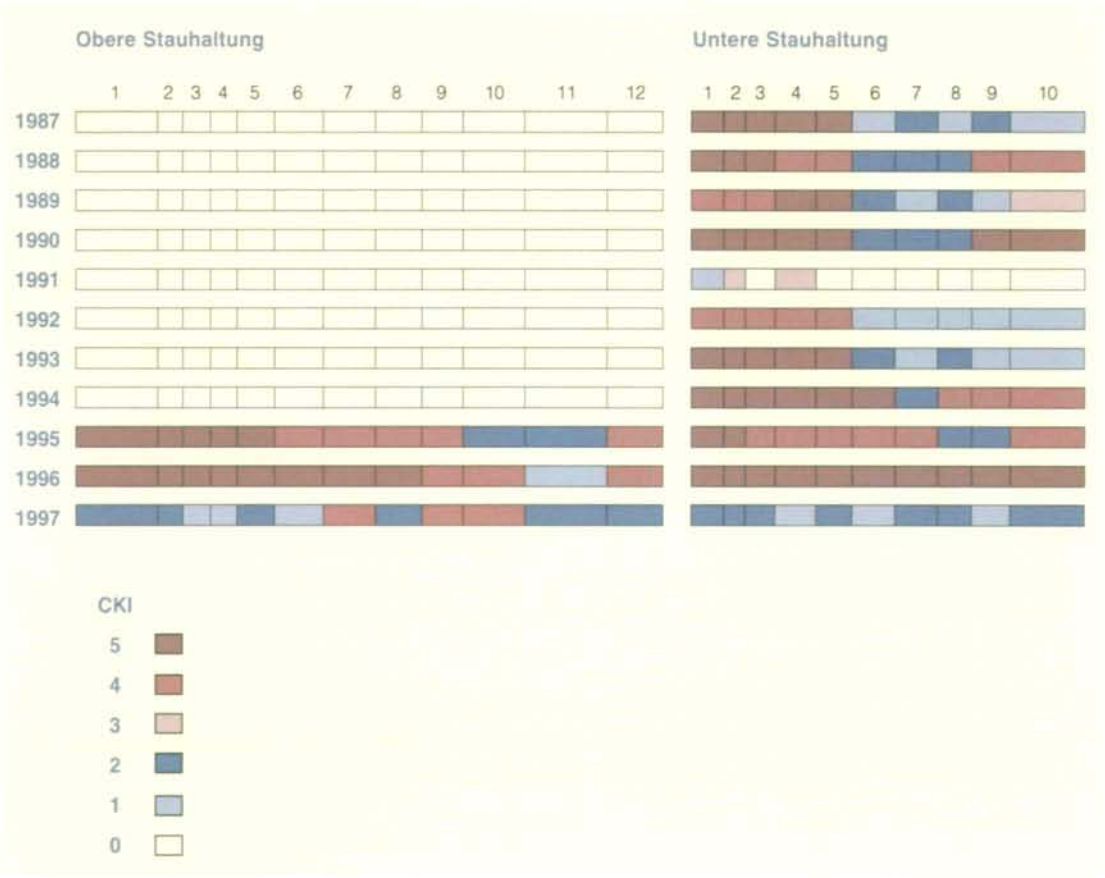


Abb. 19: Kumulativer Kohler-Index (CKI) in der oberen und unteren Stauhaltung.

Cumulative Kohler-Index (CKI, New Danube, upper and lower impoundment).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Der zweimalige Hochwasserdurchgang 1997 reduzierte die Wasservegetation der unteren Stauhaltung noch etwas stärker als in der oberen: Über die ganze Länge wurden kein einziges Mal höhere Bewertungen (nur Stufe 1 oder 2) gefunden. Aber auch dieses Ergebnis ist nur auf das Wiederaufwachsen des Tausendblattes zurückzuführen, wie sich aus der Relativen Pflanzenmenge ersehen lässt (Abb. 17 und 18).

4. Habitatstrukturen

Wie eingangs erwähnt wurde, liegt die Bedeutung der aquatischen Vegetation in der Neuen Donau nicht nur darin, dass sie ein bedeutsames Element im Nährstoffzyklus des Gewässers darstellt (s. Kapitel 5). Makrophyten sind auch eine selten gewordene Lebensform, die sich in der Neuen Donau sehr gut entwickeln kann (Kap. 3). Außerdem bieten die Wasserpflanzenbestände vielfältige Strukturen als Lebensraum für andere Gewässerorganismen an.

Am Beispiel des Laichkrautes *Potamogeton pectinatus* lässt sich die saisonale Entwicklung dieser Strukturen einfach darstellen (Abb. 20). In Jahren ohne Hochwasserereignis setzt das Längenwachstum im Juni verstärkt ein. Die größte Anzahl der Sprossteile (Stängel und Blätter) befindet sich zu diesem Zeitpunkt nahe dem Grund. In den daran anschließenden ersten Juli-Wochen wird häufig der gesamte Wasserkörper bis in die Nähe der Oberfläche durchwachsen. Die Verteilung der Sprossteile ist in diesem Zustand in allen Tiefen verhältnismäßig gleichförmig. Nach dem Erreichen der höchsten Wasserschichten entwickeln sich die oberflächennahen Sprossteile durch zahlreiche seitliche Verzweigungen zu einem dichten Bestand.

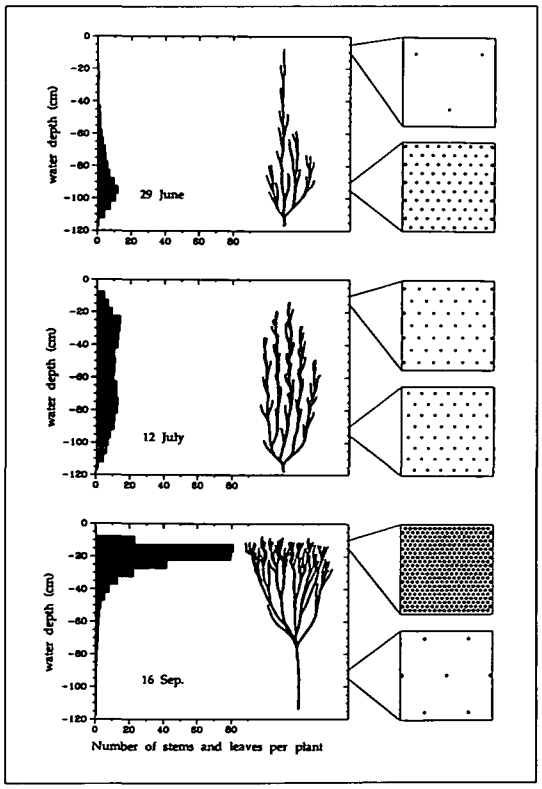


Abb. 20: Saisonale Entwicklung von *Potamogeton pectinatus* und die räumliche Veränderung der Strukturen (aus: WYCHERA et al. 1993).

Seasonal development and spatial structure of *Potamogeton pectinatus* (from WYCHERA et al. 1993).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Die Größe und die Anzahl der Kleinlebensräume ist auch abhängig von der vertikalen Lokalisierung. Eine große Zahl von Organismen wie zum Beispiel Bakterien, Pilze, Algen und wirbellose Kleintiere besiedelt die Oberfläche der Sprossteile (nur wenige Parasiten dringen auch in das Innere der Pflanzen vor). Die Graphik verdeutlicht in ihrem rechten Teil den Zuwachs an Sprossteilen und an Oberfläche im Lauf der saisonalen Entwicklung der Bestände. Entsprechend intensiv ist auch die Nutzung durch die erwähnten Organismengruppen. Weiter unten im Bestand, wo die Kleinhabitate räumlich größere Dimensionen erlangen, leben vor allem Fische in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Somit stellen die Wasserpflanzenbestände Jahr für Jahr durch ihre große Oberfläche und die räumlich gegliederten Freiwasserbereiche zwischen ihren Sprossteilen einen vielfältig strukturierten Lebensraum dar, der die Entwicklung einer hohen Diversität an begleitenden Lebensformen fördert.

Aus der vertikalen Verteilung der pflanzlichen Strukturen lässt sich auch ableiten, welche Auswirkungen Erntemaßnahmen haben können. Wenn früh in der Entwicklungszeit intensiv nahe dem Gewässerboden „gemäht" wird, dann können die Pflanzen unter Umständen während der Vegetationsperiode nicht mehr bis zur Oberfläche gelangen. In diesem Fall werden sich mengenmäßig geringere Bestände nahe über dem Grund entwickeln, falls dies die Lichtkonkurrenz durch die Schwebalgen im darüber befindlichen Wasserkörper zulässt.

Im Stadium des stärksten Längenwachstums wird sich eine Ernte in mittleren Tiefen eher dahingehend auswirken, dass die Pflanzen vermehrt versuchen, den Verlust an Sprossteilen zu kompensieren. Sie werden dabei über die verbliebene, relativ große Pflanzenmenge intensiv Nährstoffe aufnehmen, um möglichst rasch eine neue Pflanzenmasse ausbilden zu können.

Abb. 21: Makrophyten-Biomasse in der unteren und oberen Stauhaltung der Neuen Donau in den Untersuchungsjahren 1987 bis 1996.

Macrophyte biomass (New Danube, lower and upper impoundment, 1987–1997).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Sind die Bestände bereits bis in die oberflächennahen Schichten gewachsen und wird im Spätsommer die ganze Pflanzenmenge bis auf die wenigen im Sediment wurzelnden Stängel entfernt, so wird anschließend ein nochmaliger Austrieb der Pflanzen erheblich erschwert. Gleichzeitig werden auch die in diesem Zeitraum gebildeten Vermehrungseinheiten entfernt, was das Aufkommen der jeweiligen Art im nächsten Jahr erheblich beeinflussen kann.

Es ist somit das Strukturangebot durch die Wasservegetation von großer ökologischer Bedeutung und mit den Erntemaßnahmen wird in diese ökologisch bedeutsame Grundlage der Organismenwelt erheblich eingegriffen. Eine ausschließliche Prioritätensetzung zugunsten der Freizeitnutzung und eine damit begründete radikale Beerntung könnte somit die Funktion der Wasserpflanzen als Habitat-Ressource für andere Gewässerorganismen, aber auch ihre Funktion als „Nährstoff-Falle" beeinträchtigen.

5. Makrophyten und Nährstoff-Regime

Die Biomasse der Wasserpflanzen, also die durch exakte Verfahren (Wägung, Hochrechnung) ermittelte Menge an Pflanzenmaterial, lag zuerst ansteigend, dann ungefähr gleichbleibend auf dem Niveau einiger hundert Tonnen (Abb. 21). Dies gilt auch für 1991, da vor dem Hochwasserdurchgang dieses Jahres bereits eine hohe Makrophyten-Biomasse entwickelt war. Nach dem Hochwasser war die Biomasse zwar gegen null reduziert, stieg jedoch bis zum Oktober wieder auf knapp über hundert Tonnen Trockengewicht an (Abb. 24).

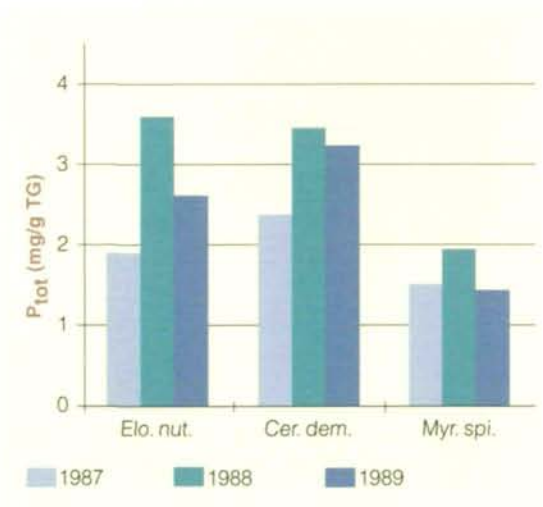


Abb. 22: Phosphorgehalt in den dominierenden Makrophytenarten *Elodea nuttallii, Ceratophyllum demersum* und *Myriophyllum spicatum*.

Phosphorus content in dominant macrophyte species *Elodea nuttallii, Ceratophyllum demersum* and *Myriophyllum spicatum*.

Abb. 23: In den Makrophyten gespeicherter Gesamtphosphorgehalt in der oberen und unteren Stauhaltung der Neuen Donau in den Untersuchungsjahren 1987 bis 1996.

Total phosphorus content of the macrophyte growth (New Danube, lower and upper impoundment, 1987–1996).

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

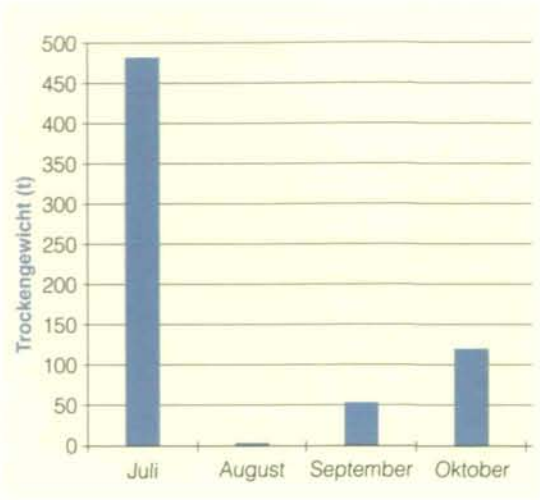


Abb. 24: Gesamtbiomasse in der unteren Stauhaltung der Neuen Donau in der Vegetationsperiode 1991.

Total biomass of macrophytes (New Danube, vegetation period 1991).

Ab 1992 waren die Biomassen in der unteren, ab 1994 auch in der oberen Stauhaltung wesentlich geringer. Dies lässt sich mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die intensive Beerntung im Zuge des Makrophyten-Managements zurückführen. Darüber hinaus ist jedoch nicht auszuschließen, dass Langzeit-Zyklen, die das Aufwachsen und Vergehen von Makrophytenbeständen in Jahre und Jahrzehnte überspannenden Perioden beeinflussen, mitverantwortlich sind.

Allerdings wurden die Bestände nicht nur mittels Mähboot, sondern auch mit Hydraulik-Geräten vom Ufer aus beerntet. Daraus ergeben sich für die genannten Jahre ebenfalls Unschärfen in der Zuordnung der Wirkungsfaktoren. Generell sind die Biomassewerte seit 1992 ungefähr gleich geblieben.

Im Nährstoffregime der Neuen Donau ist aber der treibende Faktor für das Wachstum der Wasserpflanzen der Phosphor. Er stellt das limitierende Nährelement dar. Die Wasserpflanzen, und hier vor allem die dominierenden Arten Wasserpest, Hornkraut und Tausendblatt, speichern rund 0,2 % Phosphor im Trockengewicht (Abb. 22). Dies ist mit geringen Schwankungen in allen Jahren gleich und im Zuge der elfjährigen Untersuchung der Neuen Donau immer wieder belegt worden. Auch sind die Unterschiede zwischen den einzelnen dominierenden Arten nur gering. Da in diesen Untersuchungen der Gesamt-Phosphorgehalt bestimmt wurde, entspricht dies im Wesentlichen jenen Phosphormengen, die sich in gelöster oder ungelöster Form in den Zellsäften der Zellen, an potentiellen Ablagerungsorten in den Zellwänden, aber auch als mögliche anorganische Niederschläge auf der Oberfläche der Wasserpflanzen befinden, soweit letztere nicht beim Erntevorgang mechanisch abgeschüttelt werden.

Der Phosphorgehalt, der sich direkt mit der Biomasse der Wasserpflanzen in Verbindung bringen lässt, beträgt – nach Korrektur für den Anteil der einzelnen Arten – mehrere hundert Kilogramm in der Vegetationsperiode (seit 1992, davor z. T. über 1.000 kg). Damit sind die Makrophyten als wesentliches Glied im Phosphor-Regime der Neuen Donau und als möglicher steuernder Faktor in der Regelung der Algen-Biomasse zu sehen. Zur Zeit wird versucht, diese Werte in ein mathematisches Modell einzuarbeiten, die Zahl der Untersuchungen ist jedoch für eine gut abgesicherte Aussage noch gering.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

6. Synopsis und Ausblick

Die Wasserpflanzenvegetation der Neuen Donau wurde zwischen 1987 und 1997 regelmäßig untersucht. Es zeigte sich, dass sie einerseits von hoher ökologischer Bedeutung ist, weil sie für ein Gewässer mit dieser hydraulischen Dynamik (Hochwasserdurchgänge) eine hohe Arten- und Mengendiversität aufweist, aber auch das Angebot an Kleinlebensräumen für viele aquatische Organismengruppen bestimmt. Zur Erfüllung dieser ökologischen Funktion ist die hohe Resilienz, also der Wiederaufbau der Bestandesstrukturen nach den Hochwässern, von entscheidender Wichtigkeit. Trotz mehrfacher derartiger Ereignisse ist die Makrophyten-Vegetation der Neuen Donau nicht in ihrem Bestand gefährdet worden.

Aus anthropozentrischer Sicht von größerer Bedeutung ist die Stellung der Wasserpflanzen als aktive Komponente im Nährstoff-Regime der Neuen Donau. Die Wasserpflanzen speichern den Phosphor und puffern Schwankungen in der Phosphor-Konzentration ab. Sie verringern damit den steuernden Mangelnährstoff für die Algenentwicklung und unterbinden zumindest einen Teil des potentiell kritischen Algenzuwachses.

Für die Zukunft ergibt sich für die Untersuchungen eine mehrfache Herausforderung: Einerseits gilt es, die nachhaltige Bewahrung der Makrophyten-Vegetation aus ökologischen Gründen durchzusetzen, andererseits müssen nach dem Vollstau des Stauraumes Freudenau die Effekte der so genannten Musterganglinie auf das Wachstum der Wasserpflanzen beobachtet und in Reaktion darauf optimierte Vorgangsweisen beim Entfernen überschüssiger Pflanzenmengen aus dem Gewässer entwickelt werden.

© Biologiezentrum Linz/Austria; download unter www.biologiezentrum.at

Literatur

JANAUER G. A. & K. PALL (1999): Zur quantitativen Prognose von Veränderungen der Makrophytenvegetation nach Hochwasser-Dotation in den Auengewässern der Lobau (Wien): Kartierung von Einzelbeständen und GIS-Bearbeitung als methodischer Versuch. Hohenheimer Umwelttagung **31**: 215–226.

JANAUER G. A., ZOUFAL R., CHRISTOF-DIRRY P. & P. ENGLMAIER (1993): Neue Aspekte der Charakterisierung und vergleichenden Beurteilung der Gewässervegetation. – In: BER. INST. LANDSCHAFTS-PFLANZENÖKOLOGIE, Univ. Hohenheim **2**: 59–70.

JORGA W. & G. WEISE (1979): Wasserpflanzen und ihre Massenentwicklung als Umweltfaktoren in weltweiter Sicht – ein Überblick. – Int. Revue ges. Hydrobiol. **62** (2): 209–234.

KOHLER A., VOLLRATH H. & E. BEISL (1971): Zur Verbreitung, Vergesellschaftung und Ökologie der Gefäßmakrophyten im Fließgewässersystem Moosach (Münchner Ebene). – Arch. Hydrobiol. **69**/3: 333–365.

KOHLER A. & G. A. JANAUER (1995): Zur Methodik der Untersuchung von Fließgewässern mit Hilfe von aquatischen Makrophyten. – In: STEINBERG Ch., BERNHARDT H. & H. KLAPPER (eds.): Handbuch Angewandte Limnologie, Ecomed Vlg., **VIII**-1.1.3, 1–22.

ONDOK J. P., POKORNY J. & J. KVET (1984): Model of Diurnal Changes in Oxygens Carbon Dioxide and Bicarbonate Concentrations in a Stand of Elodea Canadensis Michx. – Aquatic Botany **19**: 293–305.

PALL K. & G. A. JANAUER (1995): Die Makrophytenvegetation von Flußstauen am Beispiel der Donau zwischen Fluß-km 2552,0 und 2511,8 in der Bundesrepublik Deutschland. – Arch. Hydrobiol. Suppl. 101, Large Rivers **9**/2: 91–109.

POKORNY J. & E. REJMANKOVA (1983): Oxygen Regime in a Fishpond with Duckweeds (Lemnaceae) and Ceratophyllum. – Aquatic Botany **17**: 125–137.

WADE M. (1981): Long-term changes in the macrophyte flora of freshwater habitats in Britain. – Proc. 1st. Internat. European Workshop on aquatic macrophytes. Illmitz, Austria. p. 17.

WYCHERA U., ZOUFAL R., CHRISTOF-DIRRY P. & G. A. JANAUER (1993): Structure and Environmental Factors in Macrophyte Stands. – J. Aquat. Plant Manage **31**: 118–122.

WYCHERA U. & G. A. JANAUER (1998): Vergleich zwischen Längs- und Quertransektkartierung aquatischer Makrophyten in der Unteren Stauhaltung der Neuen Donau in Wien. – Verh. Zool.-Bot. Ges. Österreich **135**: 313–321.

Anschrift der VerfasserInnen: G. A. JANAUER
Universität Wien, Institut für Ökologie und Naturschutz
Abteilung Hydrobotanik
Althanstraße 14
A-1090 Wien

Ulrike WYCHERA
Hadersfelderstraße 14
A-3420 Kritzendorf